Aus der Medizinischen Klinik der Universität Tübingen
Geschäftsführender Direktor: Professor Dr. H.D. Waller

DER PO_2, DER PCO_2 UND DER PH NACH SPORTLICHER BELASTUNG.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Gerhard Schmidt
aus Sigmaringen

1974

Aus der Medizinischen Klinik der Universität Tübingen
Geschäftsführender Direktor: Professor Dr. H.D. Waller

DER PO_2, DER PCO_2 UND DER PH NACH SPORTLICHER BELASTUNG.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Gerhard Schmidt
aus Sigmaringen
1974

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr.E.Körber

1.Berichterstatter: Professor Dr.W.Kaufmann

2.Berichterstatter: Professor Dr.H.D.Waller

DISSERTATIONSDRUCK SCHÖN · 8 München 40 · Belgradstraße 11

Inhaltsverzeichnis Seite

Einleitung 1

Methodik 3

Probanden

Belastungsform

Untersuchungsverlauf

Ergebnisse 6

1.) Ruhewerte

2.) Erholungsphase nach dem 400-m-Lauf

a.) Sauerstoff

b.) Kohlendioxid

c.) pH

Tab. Nr.1 u. 2; Abb.Nr.1-3

3.) Während der Ergometerarbeit ermittelte Werte 17

a.) Sauerstoff

b.) Kohlendioxid

c.) pH

Tab. Nr.3 u. 4; Abb.Nr.4-6

4.) Die Erholungsphase nach Fahrradergometerbelastung im Vergleich mit der Erholungsphase nach 400-m-Lauf 26

a.) Sauerstoff

b.) Kohlendioxid

c.) pH

Tab. Nr.5 u. 6

Diskussion 31

Zusammenfassung 39

Literaturverzeichnis 40

Lebenslauf 46

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546528_0083

Einleitung

Die veränderte Stoffwechsellage bei gesteigerter Muskelarbeit bedingt eine Anhäufung saurer Stoffwechselprodukte (hauptsächlich der Laktate, Pyruvate, des Azetoazetats und der freien Fettsäuren).
Um das "milieu interne" zu erhalten, verstärkt der Organismus die O_2-Zufuhr und den CO_2-Abtransport durch Erhöhung des Atemzeitvolumens und des Herzminutenvolumens : Die metabolische Azidose soll so respiratorisch kompensiert werden.

Über Untersuchungen dieser Verhältnisse gibt es zahlreiche Mitteilungen in der Literatur (2-6, 7-23, 27,28,30,31,33-36,38-42).
Beim größten Teil dieser Untersuchungen wurde die Arbeit am Fahrradergometer oder auf der Tretmühle als Form der Belastung gewählt. Bisher sind nur wenige Untersuchungen bekannt geworden, bei denen der sportliche Wettkampf als Belastungsform gewählt wurde (KAUFMANN,W und G.TILMANN; METZNER et al.). Die genannten Autoren gingen von der Annahme aus, daß beim sportlichen Wettkampf ein größerer Teil der Muskulatur und dieser intensiver beansprucht würde, als bei den sonst üblichen Belastungsformen. Die Annahme wurde durch die Untersuchungen bestätigt : Es wurden erheblich tiefere Azidosen gemessen als nach den Belastungen unter sog.

vita-maxima-Bedingungen am Fahrradergometer mit niedrigsten pH-Werten von 6,95 (KAUFMANN,W und G.TILMANN) und 6,885 (METZNER et al.)

Über das Verhalten des O_2-Drucks bei diesen extremsten Belastungsformen wurde u.W. bisher noch nicht berichtet.

Angeregt von Herrn Prof.W.KAUFMANN machte ich deshalb das Verhalten des O_2-Drucks bei sportlichem Wettlauf im Vergleich zur Maximalbelastung am Fahrradergometer zum Hauptgegenstand meiner Untersuchungen. Der pH und der CO_2-Druck wurden miterfasst.

Methodik

Probanden. Für die Untersuchung standen 28 männliche Probanden zur Verfügung. Alle waren Studenten (mit zwei Ausnahmen) im Alter zwischen 20 und 30 Jahren. Darunter fanden sich weder völlig untrainierte (alle trieben laut Angabe mehr oder weniger regelmäßig Sport) noch Hochleistungssportler. Der Trainingszustand der Probanden war also durchweg mittelmäßig. Somit war es nicht möglich, verschiedene Gruppen entsprechend dem Trainingszustand zu bilden.

Belastungsform. Bei der Untersuchung von W.KAUFMANN und G.TILMANN ergaben sich die extremsten Azidosen von allen Laufstrecken zwischen 100 m und 500 m bei dem 400- und 800-m-Lauf. Deshalb wurde bei der dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchung die 400-m-Strecke gewählt.

Die Probanden liefen die Strecke gegen etwa gleichstarke Gegner, nachdem sie sich ausreichend warm gelaufen hatten. Die gemessenen Laufzeiten lagen zwischen 55 und 70 Sekunden. (Für das Sportabzeichen des Deutschen Sportbundes sind 68 Sekunden erforderlich)

Zehn der 28 Probanden (willkürlich ausgesucht) wurden außerdem am Fahrradergometer belastet. Die Belastung erfolgte im Sitzen am Fahrradergometer der Firma Elema-

Schoenander. Dabei wurde mit einem Pedalwiderstand von 200 kpm/sec (≙ 32,8 Watt) begonnen und alle zwei Minuten 250 kpm/sec (≙ 41,05 Watt) zugeschaltet, bis zur Erschöpfung und Arbeitsaufgabe der Probanden. Bei der Arbeitsaufgabe wurden durchschnittlich 1400 kpm/sec (≙ 229,6 Watt) erreicht, maximal 1900 kpm/sec (≙ 311,6 Watt).

Untersuchungsverlauf. Das für die Untersuchung benötigte Blut wurde unter streng anaeroben Bedingungen aus dem Ohrläppchen gewonnen und in heparinisierten Kapillaren aufgefangen. Das Ohrläppchen war zuvor mittels Finalgonsalbe hyperämisiert worden. Die blasenfrei gefüllten Kapillarröhrchen wurden sofort mit einer Kittmasse an beiden Enden luftdicht verschlossen und bis zur weiteren Verwendung auf Eis gelagert.
Die Bestimmung des O_2- und des CO_2-Drucks sowie des pH-Wertes erfolgte in der Regel ein bis zwei Stunden nach der Blutentnahme, nie jedoch mehr als drei Stunden später. Die in dieser Zeit auftretenden Veränderungen sind für das Ergebnis unbedeutend und zu vernachlässigen (persönliche Mitteilung Prof.W.KAUFMANN;METZNER,A. et al.).
Die Mikroanalyse der Blutproben wurde mittels der Vorrichtung der Firma Instrumentation Laboratory inc., Boston, durchgeführt. Die Mikroanalyse konnte als Methode gewählt werden, da sie ausreichend genau ist und das Ohrläppchenblut, zumindest was die CO_2- und O_2-

Spannung und den pH-Wert anlangt, dem arteriellen Blut vollständig entspricht (GAMBINO,S.R.; MACINTYRE, J.N. et al.; WYLICIL,P.). Auf Arterienpunktion konnte so verzichtet werden.

Den Probanden wurden vor dem 400-m-Lauf bzw. vor der Fahrradergometerbelastung jeweils drei Röhrchen entnommen. Auf Einhaltung besonderer Ruhebedingungen wurde dabei nicht geachtet. 1,3,5,8,12,16,20,25,30, min. nach der Belastung wurden weitere Proben entnommen, um so die Erholungsphase möglichst vollständig zu erfassen. Am Fahrradergometer wurden außerdem schon während der Belastung jeweils nach dem Zuschalten eines höheren Pedalwiderstandes Proben entnommen.

Die statistische Bearbeitung der Ergebnisse erfolgte nach der Methode von "Student".

Ergebnisse

1.) Ruhewerte

Sämtlichen Probanden wurden vor dem 400-m-Lauf sowie vor der Arbeit am Fahrradergometer mindestens drei Blutproben entnommen und aus den gefundenen Werten das arithmetische Mittel gebildet. Dabei ergaben sich folgende mittleren Ruhewerte: (s = Standardabweichung)

Vor dem 400-m-Lauf: (n = 28)

O_2: 93,4 Torr (s = 5,560)

CO_2: 37,3 Torr (s = 2,337)

pH: 7,42 (s = 0,042)

Vor der Ergometerarbeit: (n = 10)

O_2: 93,4 Torr (s = 4,697)

CO_2: 37,2 Torr (s = 2,200)

pH: 7,41 (s = 0,020)

Die Ruhewerte vor der Ergometerarbeit wurden gesondert bestimmt, da die äußeren Bedingungen dafür geringfügig verschieden schienen von denen des 400-m-Laufs. (400-m-Lauf in freier Luft, Ergometerarbeit in geschlossenem Raum)

Beim t-Test ergab sich jedoch kein Unterschied:

Übertritte von Ergometerarbeit gegen Ruhe-
werte vor 400-m-Lauf: (n = 10)

für O_2: t = 1,10 p<0,5

für CO_2: t = 0,033 p>0,5

für pH: t = 0,099 p>0,5

2.) Erholungsphase nach dem 400-m-Lauf

(s. Tab. Nr. 1 und 2 sowie Abb. Nr.1-3)

a.) Sauerstoff

Direkt im Anschluss an den 400-m-Lauf wurde ein kapillärer Sauerstoffdruck im Mittel von 105,25 Torr gemessen. Bis zur 5. Minute der Erholungsphase kam es noch zu einem weiteren erheblichen Anstieg auf einen mittleren Wert von 113,75 Torr. Dies entspricht einem Anstieg gegenüber dem Ruhewert von 20,36 Torr. Der Anstieg ist hoch signifikant (t = 14,5;p<0,01; s.Tab.Nr.6). Nach der 8.Minute fiel der mittlere Druck dann annähernd linear so ab, daß sich in der 30.Minute ein Wert ergab, der wieder im Bereich des Ruhewertes lag.

b) Kohlendioxid

Der kapilläre Kohlendioxiddruck fiel nach der Belastung steil ab bis auf 26,17 Torr in der 5. Minute und lag dann bis zur 25. Minute in einem Bereich zwischen 24,65 und 27 Torr. Der Abfall ist hochsignifikant. (Werte der 12. Minute der Erholungsphase gegen Ruhewerte :

t=14,4; p < 0,01; s.Tab.Nr.6) In der 30. Minute wurde mit 29,55 immer noch ein Wert gemessen, der weit unter dem Ruhewert lag.

c.) pH

Die tiefsten pH-Werte ergaben sich in der 3. und 5. Minute der Erholungsphase. Der tiefste mittlere pH wurde in der 5. Minute mit 7,128 ermittelt. (Hohe Signifikanz: t= 20,3;p <0,01;s.Tab.Nr.6) Der tiefste Einzelwert betrug 6,95, in der 3. Minute gemessen. Der Mittelwert in der 30. Minute betrug 7,358; der Ruhewert war somit zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig erreicht.

Tabelle Nr. 1 : 400-m-Lauf. Protokoll der Laufwerte

Ruhewerte und Erholungsphase

Prob. Nr.		Ruhe-wert	1	3	5	8	12	16	20	25	30
			Erholungsphase.					Min. nach Laufende			
1	CO_2	37,0	31,5	30,0	28,0	26,5	24,5	26,0	29,0	27,0	27,0
	O_2	92,5	102	106	106	106	109	101	86	98	93
	pH	7,45	7,26	7,21	7,23	7,23	7,28	7,30	7,34	7,40	7,43
2	CO_2	34,0	33,0	30,0	27,0	25,0	26,0	26,0	28,0	30,0	31,0
	O_2	88,5	98,0	105	113	108	109	103	101	97	90
	pH	7,43	7,18	7,15	7,10	7,13	7,12	7,19	7,22	7,30	7,40
3	CO_2	37,5	35,0	35,0	28,0	22,0	20,0	22,5	21,0	22,0	24,0
	O_2	87,5	108	105	103	106	102	102	99	97	97
	pH	7,51	7,27	7,27	7,20	7,16	7,13	7,18	7,23	7,27	7,31
4	CO_2	33,0	25,0	24,0	23,0	22,0	19,0	20,0	20,0	24,0	25,0
	O_2	91,0	108	108	109	113	108	102	97	97	94
	pH	7,25	7,21	7,15	7,14	7,22	7,23	7,24	7,29	7,31	7,35
5	CO_2	41,0	41,0	35,0	28,0	25,0	21,0	21,0	21,0	22,0	27,5
	O_2	93,0	110	114	117	120	102	106	113	103	97
	pH	7,43	7,14	7,06	7,05	7,01	7,06	7,08	7,08	7,21	7,29
6	CO_2	38,5	33,0	29,0	29,0	28,0	26,0	24,0	28,0	30,0	31,0
	O_2	86,0	97	102	105	99	99	99	94	85	90
	pH	7,40	7,31	7,22	7,20	7,21	7,23	7,27	7,32	7,35	7,39
7	CO_2	39,0	25,0	27,0	26,0	25,0	25,0	25,0	24,5	27,0	32,0
	O_2	97,0	109	118	114	112	112	101	99	99	97
	pH	7,44	7,18	7,15	7,13	7,13	7,16	7,21	7,28	7,30	7,36
8	CO_2	39,0	29,0	23,0	22,0	22,5	24,0	23,0	22,5	24,0	27,0
	O_2	94,0	101	102	113	109	106	108	112	106	102
	pH	7,43	7,14	7,03	7,05	7,06	7,06	7,09	7,13	7,14	7,20

Prob. Nr.		Ruhe-wert	Erholungsphase. Min. nach Laufende 1	3	5	8	12	16	20	25	30
	CO_2	39,0	35,5	27,0	24,0	24,5	23,0	22,5	22,0	22,0	25,0
9	O_2	87,0	94	114	109	103	106	97	91	85	83
	pH	7,42	7,10	7,08	7,01	7,03	7,03	7,16	7,21	7,23	7,32
	CO_2	37,5	35,0	33,5	27,0	28,0	23,0	26,0	24,5	26,0	28,0
10	O_2	102	102	108	110	110	110	110	110	108	105
	pH	7,47	7,23	7,17	7,12	7,12	7,15	7,19	7,21	7,27	7,31
	CO_2	37,5	31,0	28,0	24,0	24,0	25,0	26,0	25,0	27,0	31,0
11	O_2	90,0	91	110	114	114	110	105	97	97	93
	pH	7,41	7,18	7,12	7,12	7,11	7,11	7,18	7,20	7,25	7,33
	CO_2	37,0	32,5	27,0	25,0	24,0	24,0	27,0	26,0	28,0	30,0
12	O_2	81,0	93	99	118	112	109	106	106	98	85
	pH	7,47	7,22	7,20	7,15	7,17	7,19	7,25	7,31	7,35	7,43
	CO_2	40,0	26,0	27,0	26,0	24,0	25,0	27,0	28,0	27,0	31,0
13	O_2	95,0	105	110	116	114	116	109	98	97	93
	pH	7,42	7,25	7,20	7,09	7,10	7,16	7,29	7,36	7,37	7,37
	CO_2	34,0	28,0	24,0	24,0	19,5	20,5	25,0	28,0	28,0	32,0
14	O_2	93,0	108	108	109	116	108	105	105	94	98
	pH	7,45	7,28	7,22	7,19	7,24	7,26	7,27	7,32	7,38	7,41
	CO_2	40,0	35,0	31,0	28,0	26,0	26,0	28,0	28,0	30,0	32,0
15	O_2	95,0	106	106	117	112	110	108	102	97	94
	pH	7,43	7,19	7,16	7,13	7,19	7,22	7,22	7,31	7,36	7,43
	CO_2	35,0	29,0	28,0	25,5	30,0	31,0	30,0	28,0	27,0	31,0
16	O_2	108	116	116	116	124	117	114	112	108	99
	pH	7,43	7,26	7,21	7,20	7,23	7,26	7,31	7,36	7,35	7,37
	CO_2	36,0	25,0	26,0	28,0	26,0	28,0	27,0	28,0	32,0	34,0
17	O_2	99,0	106	112	117	113	113	113	106	95	99
	pH	7,46	7,19	7,17	7,18	7,18	7,19	7,26	7,31	7,35	7,38

Prob. Nr.		Ausgangswert	Resolutionsphase, Min. nach Leitamin 1	3	5	8	12	16	20	25	30
	CO_2	41,5	27,0	30,0	28,0	26,0	27,0	26,0	29,0	28,0	31,0
18	O_2	99,0	113	114	118	116	106	112	110	102	101
	pH	7,38	7,12	7,24	7,20	7,32	7,32	7,33	7,32	7,37	7,40
	CO_2	nicht ermittelt									
19	O_2	96,0	116	112	116	118	116	112	113	99	95
	pH	7,35	7,16	7,22	7,11	7,18	7,23	7,27	7,34	7,36	7,36
	CO_2	34,0	31,0	27,0	27,0	24,0	26,0	23,0	32,0	25,0	32,0
20	O_2	99,5	114	112	120	114	110	110	103	105	102
	pH	7,43	7,09	7,09	7,17	7,19	7,21	7,26	7,29	7,25	7,31
	CO_2	36,0	34,0	27,0	26,0	23,0	24,0	24,0	26,0	27,0	29,0
21	O_2	90,0	102	121	118	118	112	109	108	102	94
	pH	7,40	7,10	7,25	7,22	7,22	7,24	7,25	7,26	7,28	7,36
	CO_2	37,0	28,0	28,0	24,0	23,0	23,0	26,0	24,0	25,0	26,0
22	O_2	89,0	98	101	116	118	109	109	106	99	98
	pH	7,43	7,15	7,15	7,10	7,02	7,10	7,23	7,16	7,29	7,41
	CO_2	36,0	28,0	23,0	23,0	22,0	23,0	23,0	25,0	28,0	28,0
23	O_2	97,0	112	113	106	102	102	103	102	98	95
	pH	7,40	7,34	7,18	7,20	7,25	7,23	7,27	7,26	7,36	7,36
	CO_2	36,0	35,0	31,0	21,0	23,0	25,0	24,0	25,0	26,0	31,0
24	O_2	90,0	106	112	121	118	112	109	102	98	95
	pH	7,45	6,97	6,95	6,99	7,04	7,09	7,15	7,19	7,28	7,33
	CO_2	wurde nicht ermittelt									
25	O_2	99,0	113	120	120	113	113	112	109	102	103
	pH	7,43	7,25	7,16	7,00	7,03	7,05	7,18	7,23	7,26	7,33
	CO_2	36,0	33,0	29,0	28,0	29,0	28,0	26,0	26,0	28,0	28,0
26	O_2	92,0	105	113	114	110	112	102	102	99	99
	pH	7,40	7,23	7,09	7,07	7,16	7,13	7,20	7,20	7,31	7,35

Prob. Nr.		Ruhe-wert	Erholungsphase. Min. nach Laufende 1	3	5	8	12	16	20	25	30
27	CO_2	36,0	29,0	29,0	28,0	27,0	24,0	25,0	25,0	29,0	30,0
	O_2	92,0	108	112	110	114	112	102	95	97	94
	pH	7,43	7,22	7,16	7,14	7,19	7,23	7,28	7,31	7,36	7,38
28	CO_2	41,0	36,0	34,0	33,0	29,0	30,0	32,0	32,0	33,0	35,0
	O_2	90,0	106	113	116	113	112	102	99	101	97
	pH	7,40	7,27	7,17	7,13	7,13	7,19	7,28	7,31	7,36	7,39

Tabelle Nr.2 : Mittelwert m und Standardabweichung s des O_2-Drucks, des CO_2-Drucks und des pH-Wertes im arterialisierten Kapillarblut in Ruhe und in der Erholungsphase nach 400-m-Lauf von 28 Studenten.

Minuten nach Lauf	O_2(mm Hg)		CO_2(mm Hg)		pH	
	m	s	m	s	m	s
Ruhewert	93,39	5,56	37,25	2,33	7,422	0,042
1	105,25	6,79	31,17	4,09	7,195	0,077
3	110,21	5,57	28,55	3,35	7,155	0,070
5	113,75	4,85	26,17	2,59	7,128	0,065
8	112,32	5,63	24,90	2,60	7,156	0,083
12	109,46	4,39	24,65	2,83	7,172	0,075
16	106,28	5,08	25,30	2,61	7,227	0,061
20	102,39	6,68	25,40	3,21	7,262	0,068
25	98,78	5,38	27,00	2,82	7,308	0,059
30	95,78	4,99	29,55	2,80	7,358	0,049

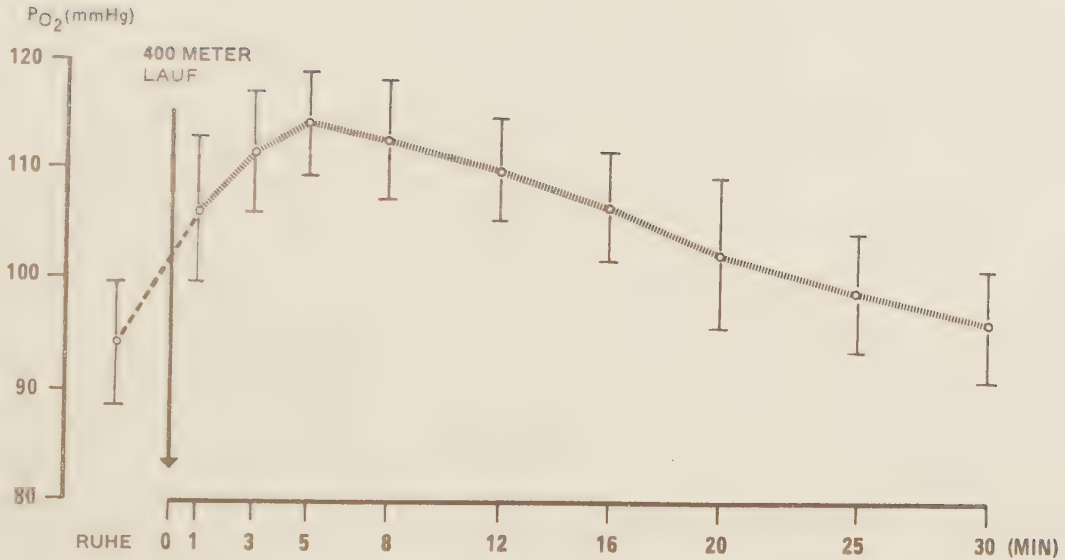

Abb. Nr. 1: Der O_2 - Druck im arterialisierten Kapillarblut nach 400-m-Lauf (28 Probanden)

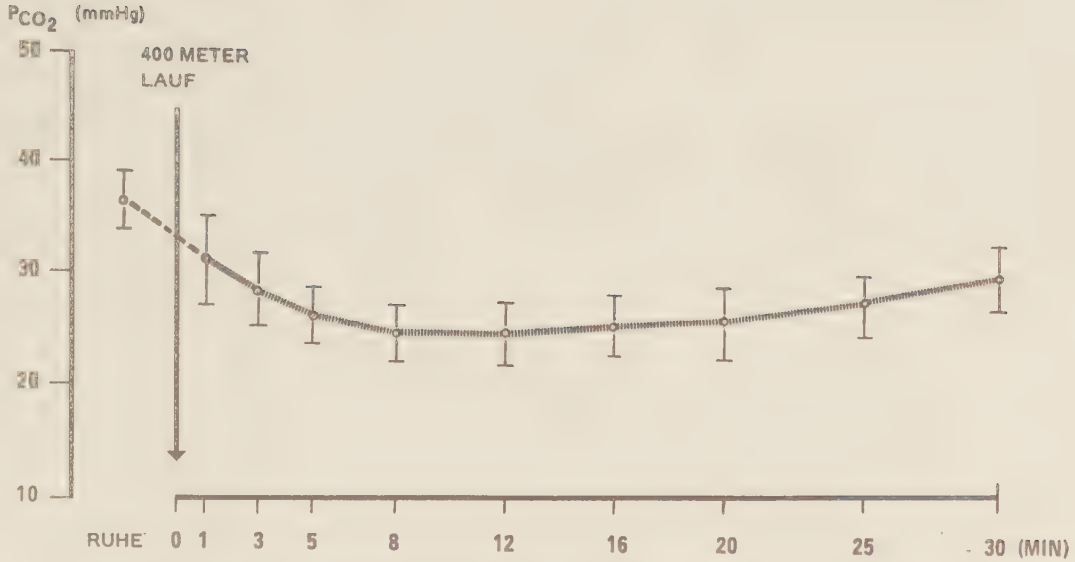

Abb. Nr. 2: Der CO_2- Druck im arterialisierten Kapillarblut nach 400-m-Lauf (28 Probanden)

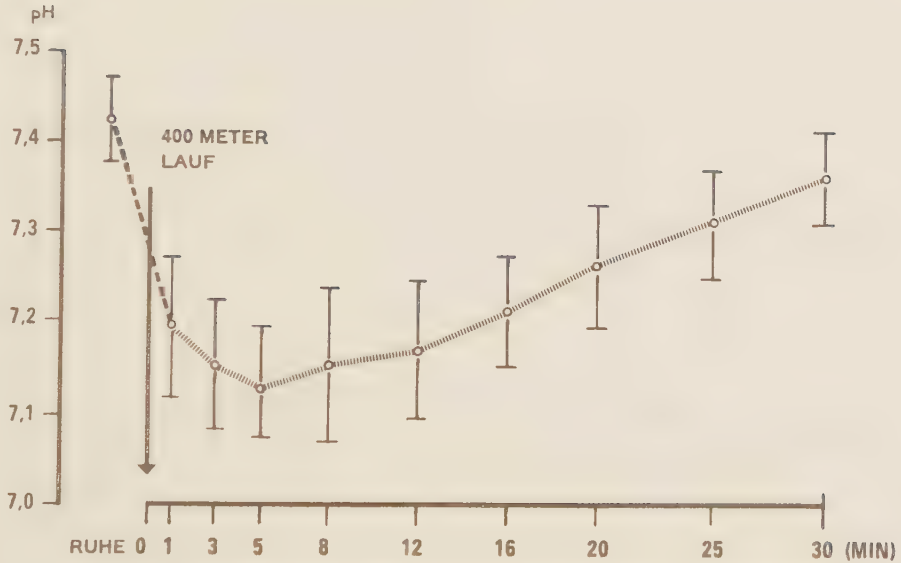

Abb. Nr. 3: Der pH-Wert im arterialisierten Kapillarblut nach 400-mLauf (28 Probanden)

3.) Während der Ergometerarbeit ermittelte Werte
(s.Tab. Nr. 3 und 4 sowie Abb. Nr. 4-6)

Wie eingangs im Abschnitt Methodik beschrieben, wurden die Probanden (10) am Fahrradergometer bis zur Erschöpfung und Arbeitsaufgabe belastet. Beginnend mit einem Pedalwiderstand von 200 kpm/sec (≙ 32,8 Watt) wurden alle 2 Minuten 250 kpm/sec (≙ 41,05 Watt) zugeschaltet. Die Arbeitsaufgabe erfolgte im Durchschnitt nach 12 Minuten bei 1400 kpm/sec (≙ 229,6 Watt). Der maximal erreichte Pedalwiderstand lag bei 1900 kpm/sec (≙ 311,6 Watt) nach 16 Minuten. Die Ergebnisse der 2,4,6,8 und 10 Minuten vor Arbeitsabbruch entnommenen Blutproben wurden hier verwertet. Es wurden bewusst die Werte aus gleichen Zeitpunkten vor Arbeitsabbruch (ähnlicher Grad der Erschöpfung) zusammengestellt, und nicht aus gleichen Belastungsstufen, die Wattzahl betreffend, da ja die gleiche Wattleistung für verschieden kräftige Organismen unterschiedliche Beanspruchung darstellt.

a.) Sauerstoff

Das Verhalten des Sauerstoffdrucks während der Ergometerarbeit war nicht einheitlich. Bei vier Probanden wurde bei der Arbeitsaufgabe ein höherer Wert gemessen als bei Arbeitsbeginn, bei fünf ein niederer Wert. Im Mittel fiel der Sauerstoffdruck um 2,15 Torr von 93,5 Torr (Ruhewert) auf 91,6 Torr.

b.) Kohlendioxid

Der CO_2-Druck fiel bei sämtlichen Probanden bei der Ergometerarbeit ab und lag bei Arbeitsabbruch im Mittel bei 30,75 Torr, also 6,45 Torr niederer als der Ruhewert (37,2).

c.) pH-Wert

Der pH-Wert fiel ebenfalls bei sämtlichen Probanden ab. Bei Arbeitsabbruch wurde ein Mittelwert von 7,32 gemessen, 0,915 niederer als der Ruhewert 7,4115.

Tabelle Nr.3 : Ergometerarbeit. Protokoll der Einzelwerte

Ruhewerte, Belastungsphase und Erholungsphase

Prob. Nr.		Ruhe-wert	Min.vor Arbeitsaufgabe 10	8	6	4	2	Min. nach Belastung 1	3	5	8	12	16	25	30
	CO_2	35,0	37,0	37,0	34,0	32,0	29,0	28,0	28,0	28,0	29,0	23,0	30,0	30,0	33,0
1	O_2	90,0	94	94	98	93	93	93	94	103	108	106	95	94	94
	pH	7,42	7,41	7,38	7,36	7,33	7,34	7,31	7,31	7,29	7,22	7,23	7,32	7,41	7,42
	CO_2	37,2	32,0	34,5	37,5	34,5	32,5	30,0	28,0	28,5		29,0	26,0	28,0	31,0
2	O_2	87,0	85	89	85	89	87	90	94	92		89	84	89	85
	pH	7,39	7,40	7,38	7,38	7,39	7,35	7,29	7,27	7,31		7,32	7,35	7,40	7,43
	CO_2	37,0	36,0	35,0	33,0	32,0	32,0	30,0	26,0	29,0	28,0	27,0	29,0	33,0	34,0
3	O_2	94,0	93	98	94	91	83	95	101	102	108	98	91	93	94
	pH	7,41	7,38	7,37	7,35	7,34	7,34	7,26	7,28	7,25	7,30	7,33	7,36	7,38	7,40
	CO_2	42,0	39,0	35,0	39,0	30,0	33,0	33,0	26,0	30,0	28,0	26,0	25,0	28,0	27,0
4	O_2	99,0	103	101	94	94	90	93	87	90	108	101	101	104	96
	pH	7,39	7,39	7,39	7,36	7,33	7,30	7,29	7,28	7,24	7,26	7,30	7,33	7,32	7,40

Prob. Nr.		Ruhe-wert	Min. vor Arbeitsaufgabe 10	8	6	4	2	Min. nach Belastung 1	3	5	8	12	16	25	30
	CO_2	37,0	35,0	35,0	32,0	32,0	31,0	25,0	20,0	27,0	30,0	35,0	37,0	36,0	36,0
5	O_2	96,0	94	86	91	86	85	95	101	100	99	94	97	96	96
	pH	7,45	7,41	7,35	7,37	7,31	7,32	7,29	7,28	7,28	7,30	7,32	7,38	7,41	7,40
	CO_2	34,0	34,0	31,0	35,0	32,0	30,0	28,0	26,0	25,0	30,0	29,0	30,0	35,0	35,0
6	O_2	90,0	99	98	98	99	101	99	101	112	100	100	94	95	91
	pH	7,42	7,40	7,40	7,42	7,40	7,37	7,37	7,32	7,29	7,39	7,40	7,42	7,42	7,41
	CO_2	36,0	38,0	37,0	37,0	36,0	26,0	27,0	29,5	24,0	24,0	24,0	24,0	28,0	31,0
7	O_2	99,0	87	85	86	83	83	95	93	109	98	97	96	95	98
	pH	7,43	7,43	7,41	7,33	7,32	7,28	7,26	7,25	7,23	7,26	7,31	7,32	7,36	7,41
	CO_2	40,0	38,0	38,0	35,0	36,0	36,0	34,0	30,0	28,0	24,0	33,0	32,0	36,0	37,0
8	O_2	92,0	89	86	85	89	98	100	98	103	94	87	86	92	90
	pH	7,41	7,39	7,34	7,34	7,32	7,30	7,28	7,27	7,22	7,25	7,30	7,36	7,41	7,40
	CO_2	37,0	34,0	35,0	26,0	28,0	30,0	26,0	29,0	27,0	23,0	21,0	27,0	33,0	35,0
9	O_2	100	98	95	94	93	99	99	101	110	108	102	99	103	101
	pH	7,38	7,40	7,35	7,29	7,30	7,29	7,28	7,25	7,24	7,25	7,33	7,34	7,38	7,42

Prob.		Ruhe-	Min. vor Arbeitsaufgabe						Min. nach Belastung					
Nr.		wert	10	8	6	4	2	1	3	5	8	12	16	25	30
	CO_2	39,0	34,0	32,0	34,0	33,0	28,0	24,0	25,0		24,0	27,0	25,0	36,0	38,0
10	O_2	88,5	90	97	81	91	97	91	99		99	101	90	88	89
	pH	7,40	7,34	7,34	7,34	7,32	7,31	7,31	7,28		7,32	7,31	7,33	7,37	7,40

Tabelle Nr.4 : Mittelwert m und Standardabweichung s des O_2-Drucks, des CO_2-Drucks und des pH-Wertes im arterialisierten Kapillarblut während Ergometerarbeit und in der Erholungsphase danach von 10 Studenten.

Minuten vor bzw. nach Ende der Belastung	O_2(mm Hg)		CO_2(mm Hg)		pH	
	m	s	m	s	m	s
Ruhewert	93,75	4,69	37,20	2,20	7,411	0,020
10	93,2	5,65	35,7	2,26	7,396	0,024
8	92,9	5,89	34,95	2,16	7,371	0,025
6	90,6	5,96	34,25	3,59	7,354	0,034
4	90,8	4,44	32,55	2,49	7,336	0,033
2	91,6	6,91	30,75	2,82	7,320	0,029
1	95,0	3,43	28,50	3,27	7,294	0,031
3	96,9	4,74	26,75	2,91	7,279	0,022
5	102,3	7,59	27,68	2,21	7,266	0,029
8	103,44	4,53	27,11	2,71	7,280	0,054
12	98,2	4,89	26,50	3,95	7,310	0,046
16	93,4	5,35	28,60	4,08	7,345	0,034
25	93,9	4,12	31,20	3,91	7,386	0,030
30	93,4	4,71	33,7	3,30	7,409	0,011

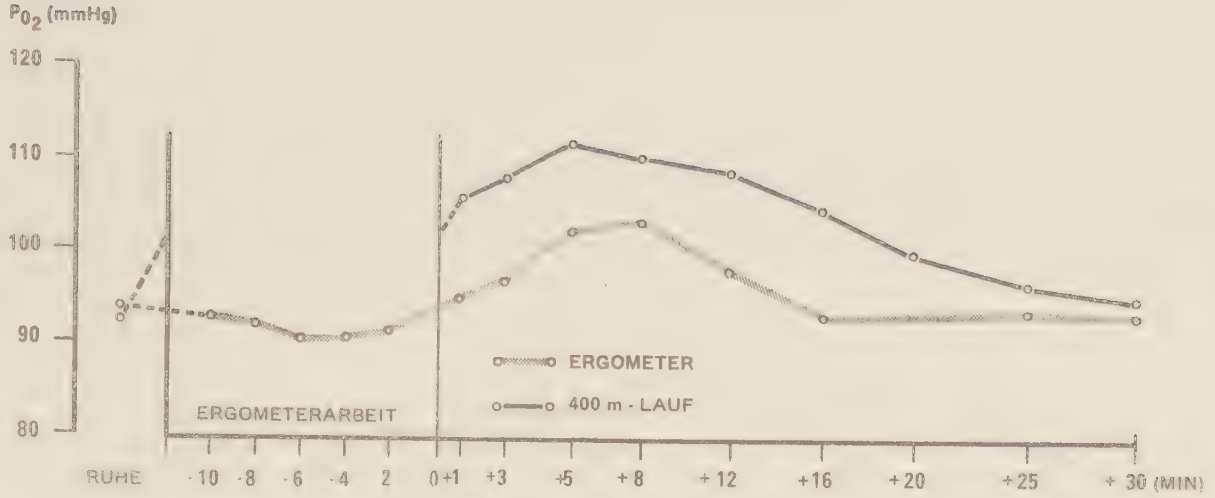

Abb. Nr. 4 Der O_2- Druck im arterialisierten Kapillarblut während und nach erschöpfender Ergometerarbeit sowie nach 400 - m - Lauf (10 - Probanden)

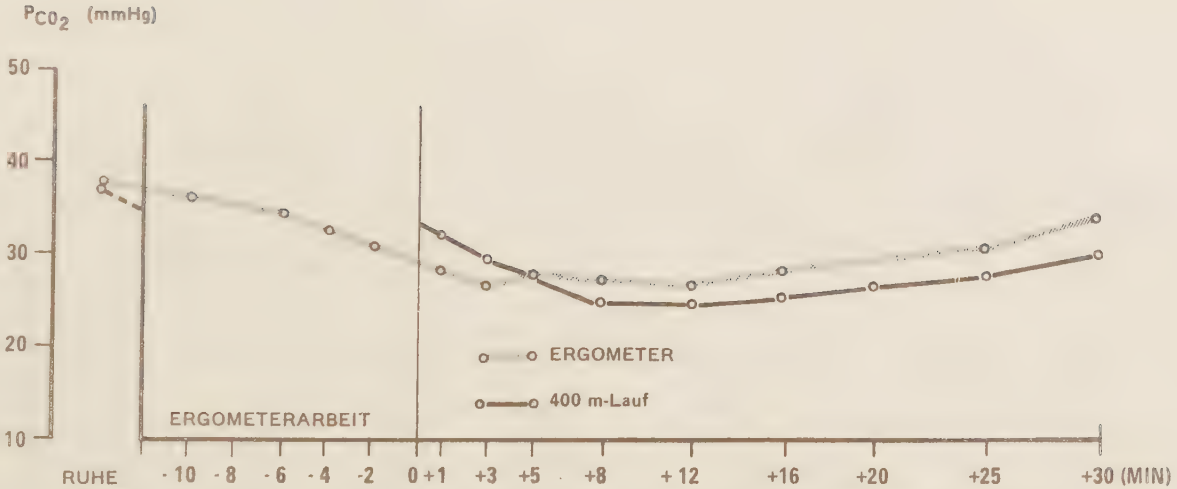

Abb. Nr. 5: Der CO_2 Druck im arterialisierten Kapillarblut während und nach erschopfender Ergometerarbeit sowie nach 400-mLauf (10 Probanden)

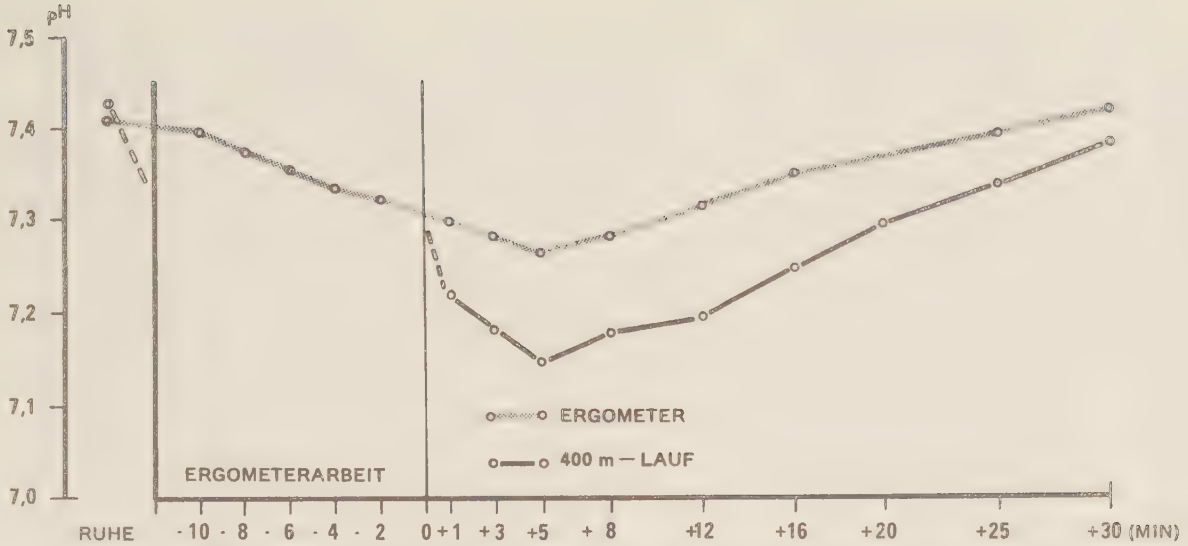

Abb. Nr. 6: Der pH-Wert im arterialisierten Kapillarblut während und nach erschöpfender Ergometerarbeit sowie nach 400-m-Lauf (10 Probanden)

4.) Die Erholungsphase nach Fahrradergometerbelastung im Vergleich mit der Erholungsphase nach 400-m-Lauf

10 Probanden unterzogen sich sowohl dem 400-m-Lauf als auch der Belastung am Fahrradergometer. Es wurden die Mittelwerte der Erholungsphase nach dem 400-m-Lauf dieser 10 Probanden gesondert berechnet und mit den Ergebnissen aus der Erholungsphase nach der Fahrradergometerbelastung verglichen. Der statistische Vergleich nach der Methode von "Student" ist in der Tabelle Nr.5 zusammengefasst.

a.) Sauerstoff

(s. Abb. Nr.4)

Bei der Arbeitsaufgabe nach der Ergometerbelastung betrug der Sauerstoffdruck im Durchschnitt 91,6 Torr. Er stieg bei allen Probanden zu Beginn der Erholungsphase an und erreichte seinen Höchstwert im Mittel in der 8. Minute mit 103,44 Torr. (hoch signifikant; s.Tab.Nr.6) Danach fiel er wieder ab und erreichte schon in der 16. Minute einen Wert, der dem Ausgangswert entsprach und sich bis zur 30. Minute nicht mehr änderte.

Die Erholungsphase nach dem 400-m-Lauf zeichnete sich im Vergleich dazu durch einen wesentlich höheren Anstieg des Sauerstoffdrucks und ein längeres Anhalten der erhöhten Werte aus. Der höchste Mittelwert wurde in der 5. Minute mit 111,9 Torr gemessen. Dieser Wert lag

um 8,5 Torr höher als der höchste Mittelwert nach der Ergometerbelastung. Wesentlich später als nach der Ergometerarbeit, erst in der 30. Minute, wurde der Ruhewert wieder erreicht.

Der statistische Vergleich ergibt, daß der höhere Anstieg des pO_2 nach dem 400-m-Lauf signifikant ist und die pO_2-Verlaufskurve bis zur 25.Minute der Erholungsphase signifikant höher liegt.

b.) Kohlendioxid

(s. Abb. Nr.5)

Nach beiden Belastungsformen kommt es zu einem jeweils signifikanten Abfall des kapillären Kohlendioxiddrucks. Besonders kennzeichnend für das Verhalten des pCO_2 war nach beiden Belastungsformen das sehr lange Anhalten der erniedrigten Werte. Nach der Ergometerarbeit fiel der CO_2-Druck von 30,75 Torr (bei Arbeitsabbruch) auf 26,75 Torr in der 3. Minute der Erholungsphase ab. In diesem Bereich blieben die Werte weiterhin bis zur 12. Minute. Erst nach der 12. Minute erfolgte ein langsamer Anstieg. In der 30. Minute wurde mit 33,7 Torr ein Wert gemessen, der noch um 3,5 Torr unter dem Ruhewert lag.

Ganz ähnlich verhielt sich der CO_2-Druck in der Erholungsphase nach dem 400-m-Lauf, nur war die Erniedrigung der Werte noch ausgeprägter. Sie lagen ab der 5. Minute bis an das Ende der Erholungsphase ständig 3-4 Torr tiefer. Statistisch signifikant erwies sich

dieser tiefere Verlauf der pCO_2-Kurve allerdings nur in der 25. und in der 30. Minute.

c.) pH- Wert

(s. Abb. Nr.6)

Während der Arbeit am Fahrradergometer war der pH-Wert bis nach Arbeitsabbruch auf 7,294 im Durchschnitt abgesunken und fiel dann noch weiterhin bis zur 5. Minute auf den tiefsten Mittelwert von 7,266. Der Ruhewert wurde etwa in der 25. Minute wieder erreicht. Der Abfall des pH nach dem 400-m-Lauf war wesentlich stärker, als nach der Ergometerarbeit. Der pH sank auf einen tiefsten Mittelwert, gemessen in der 5. Minute, von 7,146. Der Ruhewert wurde deutlich langsamer wieder erreicht als nach der Ergometerarbeit. In der 30. Minute wurde noch ein pH von 7,373 im Mittel gefunden. Der Abfall des pH war nach beiden Belastungsformen signifikant. Ebenso lies sich statistisch sichern, daß zu jedem Zeitpunkt der Erholungsphase nach dem 400-m-Lauf der pH tiefer lag, als nach der Ergometerarbeit.

Tabelle Nr.5 : t-Test

Statistischer Vergleich der Ergebnisse aus den Erholungsphasen nach Ergometerarbeit und nach 400-m-Lauf

n = 10

Minuten nach	O_2		CO_2		pH	
Belastung	t	p	t	p	t	p
Ruhewerte	1,10	>0,1	0,33	>0,5	0,09	>0,5
1	2,68	<0,05	2,21	>0,05	3,28	<0,01
3	5,78	<0,01	1,72	>0,05	5,73	<0,01
5	3,16	<0,05	0,51	>0,5	4,16	<0,01
8	2,97	<0,05	1,66	>0,05	4,91	<0,01
12	4,74	<0,01	1,17	>0,05	5,24	<0,01
16	5,34	<0,01	2,24	>0,05	6,15	<0,01
25	1,56	>0,05	2,42	<0,05	3,41	<0,01
30	0,87	>0,05	2,76	<0,05	0,03	>0,5

Tabelle Nr.6 : Signifikanzberechnung, t-Test.
Ruhewerte gegen Maximalwerte bzw.
Minimalwerte in den Erholungsphasen.

1.) pO_2

a.) Ruhewerte gegen Werte in der 5. Min. nach 400-m-Lauf:
t= 14,58; $p < 0,01$ n= 28

b.) Ruhewerte gegen Werte in der 8. Min. nach Ergometerbelastung:
t= 5,0; $p < 0,01$ n= 9

2.) pCO_2

a.) Ruhewerte gegen Werte in der 12. Min. nach 400-m-Lauf:
t= 14,47 $p < 0,01$ n= 26

b.) Ruhewerte gegen Werte in der 12. Min. nach Ergometerbelastung:
t= 7,48 $p < 0,01$ n= 10

3.) pH

a.) Ruhewerte gegen Werte in der 5. Min. nach 400-m-Lauf:
t= 20,38 $p < 0,01$ n= 28

b.) Ruhewerte gegen Werte in der 5. Min. nach Ergometerbelastung:
t= 12,73 $p < 0,01$ n= 10

Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1.) Nach beiden Belastungsformen, sowohl nach dem 400-m-Lauf als auch nach der Ergometerbelastung, kommt es zu einem Anstieg des kapillären bzw. arteriellen pO_2 und zu einem Abfall des pCO_2 und des pH-Werts. Diese Veränderungen sind jeweils hoch signifikant.

2.)Die Veränderung der erfassten Größen (Anstieg des pO_2, Abfall des pCO_2 und des pH - Wertes) war im Anschluss an den 400-m-Lauf ausgeprägter als nach der am Fahrradergometer unter sogenannten vita-maxima-Bedingungen geleisteten Arbeit.

3.) Die Erholungsphase nach dem 400-m-Lauf war deutlich länger als nach der Fahrradergometerbelastung, d.h. die Ruhewerte wurden nach dem 400-m-Lauf langsamer erreicht.

4.) Sowohl nach der Ergometerarbeit als auch nach dem 400-m-Lauf wurden die größten Veränderungen nicht unmittelbar nach der Belastung gefunden, sondern erst in der 5.-8- Minute der Erholungsphase.

Der für den Sauerstoffdruck gefundene mittlere Ruhewert von 93,3 Torr liegt im Bereich der in der Literatur für die entsprechende Altersklasse angegebenen Werte. Die Angaben in der Literatur für den arteriel-

len bzw. kapillären O_2-Druck gehen von 87 Torr bis 100 Torr. (3;4;13;14;16;17;21;22;31;36;37)
Der ermittelte pCO_2-Ruhewert von 37,25 liegt im unteren Bereich der in der Literatur angegebenen Normalwerte, der pH-Wert von 7,422 im oberen Bereich. (1;4;13;14;17;22;34;40;47). Dies weist auf eine leichte Hyperventilation mit Tendenz zur respiratorischen Alkalose hin. Lag tatsächlich eine geringe Hyperventilation vor, so kann sie dadurch bedingt gewesen sein, daß sowohl vor der Ergometerarbeit als auch vor dem 400-m-Lauf auf Einhaltung besonderer Ruhebedingungen verzichtet wurde. Dies geschah absichtlich, da die Ausgangslage vor sportlichen Wettkämpfen (vor dem Einlaufen) ebenfalls nicht eine besondere Ruhesituation darstellt. Allerdings wurde darauf geachtet, daß die Probanden zuvor keiner besonderen körperlichen Belastung ausgesetzt waren. In wie weit eine durch die Untersuchung psychisch bedingte leichte Hyperventilation hinzugekommen ist, ließ sich naturgemäß nicht erfassen.

Während der Belastung am Fahrradergometer wurde im Mittel ein geringfügiger Abfall des Sauerstoffdrucks um 2,15 Torr festgestellt. In der Literatur wird für den arteriellen Sauerstoffdruck während der gleichen oder ähnlichen Belastung für Normalpersonen ebenfalls nur ein geringer oder kein Abfall angegeben. (3;12;13; 17;45) Bei Trainierten fanden DOLL et al. jedoch einen

stärkeren Abfall des Sauerstoffdrucks von 10 - 12 Torr (34). Dieser größere pO_2-Abfall bei Trainierten ist vermutlich auf eine ökonomischere Atemtechnik zurückzuführen. Dabei wird ein Abfall des Sauerstoffdrucks in Kauf genommen, um nicht an einem Punkt anzulangen, an dem der Sauerstoffmehrverbrauch der Atemmuskulatur die Sauerstoffmenge wieder aufbraucht, welche durch die gesteigerte Ventilation eingebracht wird.
Umgekehrt ließe sich der von uns bei einigen Probanden während der Ergometerarbeit gefundene geringgradige Anstieg des O_2-Drucks als Zeichen besonders unökonomischer Atemtechnik deuten.

In den Erholungsphasen nach beiden Formen der Belastung (400-m-Lauf wie Fahrradergometerarbeit) kam es zu einem Anstieg des kapillären O_2-Drucks bei sämtlichen Probanden. In der Literatur wird ebenfalls ein Anstieg des arteriellen bzw. des kapillären O_2-Drucks angegeben (12,14,34). Die Ursache dieses Verhaltens ist bislang nicht eindeutig geklärt. Mehrere Mechanismen können dafür verantwortlich gemacht werden :

1.) Für die CO_2-Abgabe und O_2-Aufnahme in der Lunge sind u.a. die Kontaktzeit des Blutes mit der Alveolarluft und die Konzentration dieser Gase

in den Alveolen von Bedeutung (8;34). Durch Steigerung des Herzzeitvolumens wird die Kontaktzeit verkürzt. Dies muß jedoch nicht mit einem geringeren Gasaustausch einhergehen, wenn gleichzeitig, was in der Regel der Fall ist, die Ventilation ebenso gesteigert ist und die alveoläre Sauerstoffkonzentration ansteigt bzw. die CO_2-Konzentration sinkt. Das steilere Diffusionsgefälle ermöglicht dann eine raschere Diffusion. Eine Erhöhung der Ventilation bei einem relativ weniger gesteigerten Herzzeitvolumen könnte einen umfangreicheren Gasaustausch und somit eine Erhöhung des O_2-Drucks und einen Abfall des CO_2-Drucks im arteriellen Blut bedingen. Auf diese Weise ließe sich der gefundene O_2-Druckanstieg bei gleichzeitigem CO_2-Druckabfall in der Erholungsphase erklären.

Der Druckabfall während der Ergometerbelastung, den wir bei 4 Probanden beobachten konnten, läßt sich jedoch kaum umgekehrt durch die Annahme einer Erhöhung des Herzzeitvolumens bei relativ geringerer Erhöhung der Ventilation erklären, da dies ja einen gleichzeitigen CO_2-Druckanstieg voraussetzen würde. Der CO_2-Druck war aber während der Ergomterbelastung deutlich abgefallen.

2.) Die Lage der Dissoziationskurve des Sauerstoffs im Blut ist pH - abhängig. (34;41) Sie wird bei einem pH - Abfall nach rechts verschoben, was bedeutet, daß gleichen Sauerstoffsättigungsgraden erhöhte Sauerstoffdruckwerte entsprechen. Es läßt sich mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß ein nicht unbeträchtlicher Teil des O_2-Druckanstieges in der Erholungsphase auf den gleichzeitig gefundenen extremen pH-Abfall zurückzuführen ist.

3.) Aus den Vv. bronchiales und aus denjenigen Vv. cordis minimae (Thebesii) welche in den linken Ventrikel münden, erhält das in den Lungen aterialisierte Blut venöse Beimischungen noch ehe es in den großen Kreislauf kommt. Entsprechend dem Ausmaß dieses Shunts ist das arterielle Blut O_2-reicher oder O_2-ärmer.(41) Es ist denkbar, daß bei erhöhtem Herzzeitvolumen das Shuntvolumen nicht ebenso ansteigt, die venöse Beimischung zum arteriellen Blut relativ geringer ist und daraus ein arterieller O_2-Anstieg und CO_2-Abfall resultieren. Ein (wohl geringer) Teil des O_2-Druckanstieges und des CO_2-Druckabfalls in der Erholungsphase könnte hierauf zurückzuführen sein.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, ergaben die Untersuchungen von KAUFMANN und TILMANN ferner von METZNER et al., daß nach sportlichem Wettkampf wesentlich größere Veränderungen im Säure-Basengleichgewicht eintreten, als nach vita-maxima-Belastung am Fahrradergometer.
Die Ergebnisse der vorgelegten Untersuchung bestätigen dies. Es wurde nach dem 400-m-Lauf ebenso ein bedeutend größerer pH-Abfall gefunden, als nach der Ergometerbelastung unter vita-maxima-Bedingungen. Unsere Untersuchungen ergaben allerdings einen etwas geringeren pH-Abfall, wohl bedingt durch die Tatsache, daß es sich bei unseren Probanden um jugendliche Normalpersonen handelte und nicht um Sportler wie bei den Untersuchungen von KAUFMANN und TILMANN oder sogar um Spitzensportler wie bei METZNER et al. Über das Verhalten des Kohlendioxiddrucks können wir die gleiche Aussage machen. Der pCO_2-Abfall nach dem 400-m-Lauf war ebenfalls signifikant größer als nach der Ergometerbelastung, wobei hier die Differenz relativ am geringsten schien. (2 Torr)

Das Verhalten des O_2-Drucks nach einer extremen sportlichen Belastung wie sie es der 400-m-Lauf darstellt, wurde u.W. bislang noch nicht untersucht. Andere Autoren

wählten für derartige Untersuchungen die Belastung am Fahrradergometer unter sog. vita-maxima-Bedingungen. Der nach solchen Belastungen gemessene O_2-Druckanstieg bewegt sich im Bereich von 10-15 Torr (13;14;15; 22;34).

Unsere Untersuchung zeigte, daß die kürzere und intensivere Belastung, der 400-m-Lauf, einen größeren O_2-Druckanstieg zur Folge hat: Der Anstieg des O_2-Druck nach dem 400-m-Lauf war im Mittel doppelt so hoch (20,6 bzw. 19,2 Torr) als nach der Ergometerbelastung (9,7 Torr) und lag damit auch weit über den von den anderen Autoren nach den sonst üblichen Belastungsformen gemessenen Werten.

Der 400-m-Lauf ist die kürzere, aber intensivere Belastungsform im Vergleich zur ebenfalls erschöpfenden Ergometerarbeit.

Unsere Untersuchung zeigte also, daß für das Ausmaß des O_2-Druckanstiegs wie auch für die anderen Parameter des Säure-Basengleichgewichts die Intensität der vorausgegangenen Belastung von tragender Bedeutung ist, mehr als die Belastungsdauer.

Die Mechanismen die den höheren O_2-Druckanstieg verursachen, sind sicher die gleichen, die auch schon den niedereren Anstieg nach anderen Belastungsformen bedingen. Sie werden jedoch bei dieser intensivereren Belastungsform in besonders starkem

Maße in Gang gesetzt: Die Stoffwechsellage kommt in kürzester Zeit auf ein höchstes Niveau, saure Stoffwechselprodukte sammeln sich kurzfristig in größtem Maße an, die Ventilation ist maximal gesteigert. Diese Situation des größtmöglichen Stoffwechsels pro Zeiteinheit mit entsprechend maximalen Veränderungen der zu erfassenden Parameter bezeichnen wir als vita maxima und nicht jede bis zur Erschöpfung gehende Belastung.

Zusammenfassung

Das Verhalten des Sauerstoffdrucks im arterialisierten Kapillarblut wurde bestimmt während erschöpfender Ergomterarbeit und in der Erholungsphase danach, sowie in der Erholungsphase nach 400-m-Lauf. pH und Kohlendioxiddruck wurden miterfasst. Nach beiden erschöpfenden Belastungsformen kommt es zu einem Anstieg des pO_2 sowie zu einem Abfall des pH und des pCO_2. Der Anstieg des pO_2 (um 20 Torr) nach dem 400-m-Lauf ist doppelt so hoch als nach der Ergometerbelastung und größer, als von anderen Autoren bisher angegeben. Dieses unterschiedliche Verhalten wird erörtert. Mögliche Ursachen für den Anstieg des pO_2 werden angeführt.

Literaturverzeichnis

1.) Andersen,O.,K.Engel, K.Jörgensen, P.Astrup : A micro method for determination of pH, carbon dioxide, base excess and standard bicarbonate in capillary blood. Scand.J.clin.Lab.Invest. 12:172 (1960)

2.) Asmusen,E., M.Nielsen : Measurement of arterial pO_2 in light and heavy exercise. Acta physiol.scand. 1958/42 suppl.145

3.) Asmusen,E., M.Nielsen : Acta physiol.scand. 43:365 (1958)

4.) Beckmann,H., J.Kann, D.Szadowski : Das Verhalten der arteriellen Blutgase und der Wasserstoffionenkonzentration unter verschiedenen Ventilationsbedingungen. Med.Welt S.2232-2238, Heft 42, 1966.

5.) Bouhuys,A., J.Pool, A.Binkhorst, P.v.Leeven : Metabolic acidosis of exercise in healthy males. J.appl. Physiol.21:1040 (1966)

6.) Chapman,C.B., R.A.Mitchel : The physiology of exercise. Sci.Amer.212,88 (1965)

7.) Christoforides,C. : Supersaturation of blood with O_2. J.appl.Physiol. 26(2)239-40 (1969)

8.) Comroe,Julius H.jr.: Physiologie der Atmung. F.K.Schattauerverlag Stuttgart-New York 1968

9.) Davies,H., N.Gazetopoulos, E.Olivier : Ventilatory and metabolic response to graduated and prolonged exercise in normal subjects. Clin.Science 1965.29.443-452

10.) Doll,E., J.Keul : pO_2, pH and pCO_2 in the coronar-venous and femoralvenous blood during exercise and hypoxia. Biochemistry of exercise. Ed.: J.R.Poortmans Basel-New York 1969

11.) Doll,E., J.Keul : Der Einfluss des pH-Wertes auf den Sauerstoffdruck des coronarvenösen und des femoral-venösen Blutes während Belastung. Klin.Wchschr. 45:1201-3 Dez.67

12.) Doll,E., J.Keul, R.Limón-Lason, H.Reindell : Der Einfluss körperlicher Arbeit auf die Blutgase in Freiburg und Mexico City. Sportarzt und Sportmed. 18,317 (1967)

13.) Doll,E., J.Keul, C.Maiwald : Oxygen tension and acid-base equilibria in venous blood of working muscle. Am.J.Physiol. 215(1):23-29 (1968)

14.) Doll,E., J.Keul,C.Maiwald, H.Reindell : Das Verhalten des O_2, CO_2 und pH, Standardbicarbonat und base ex-cess im arteriellen Blut. Int.Z.angew.Physiol. 22.327 (1966)

15.) Doll,E., J.Keul, C.Maiwald, H.Reindell, H.Stein : Pflügers Archiv f.d.ges. Physiol. 282:28

16.) Doll,E., J.Keul, H.Reindell : Die arteriellen Blutgase bei Verminderung der Sauerstoffkonzentration in der Inspirationsluft während körperlicher Arbeit. Int.Z.angew.Physiol.Arbeitsphysiol. 25,46 (1968)

17.) Doll,E., K.König, H.Reindell : Das Verhalten der arteriellen Sauerstoffspannung und anderer blutgasanalytischer Daten in Ruhe und während körperlicher Belastung. Pflügers Archiv f.d.ges.Physiol. 271:183 (1960)

18.) Drews,A.: Stoffwechseluntersuchungen bei Trainierten während Fahrradergometerbelastung in mittleren Höhen. Schweiz.Z.Sportmed. 14,88 (1966)

19.) Ericksson,B.O., Grimby G., Saltin B. : Cardiac output and arterial blood gases during exercise in pubertal boys. J.appl.Physiol. 31(3) 348 (1971)

20.) Faulkner,J.A., J.Kollias, C.B.Favour, E.R.Buskirk, B.Balke : Maximum aerobic capacity and running performance in altitude. J.appl.Physiol. 24,685 (1968)

21.) Friehoff,F.: Der Gasaustausch bei gesunden Männern unter Ruhebedingungen und während körperlicher Arbeit. Pflügers Archiv f.d.ges.Physiol. 270,431-444.(1959)

22.) Galdston,M., A.C.Wollack : Oxygen and carbon dioxid tensions of alveolar air and arterial blood in healthy young adults at rest and after exercise. Amer. J.Physiol. 151/276 (1947)

23.) Galeti,P.M., P.Haab, P.May, A.Flesch : L'état d'équilibre des échanges respiratoires pendant l'exercise musculaire. J.de Physiol. 48:584 (1956)

24.) Gambino,S.R.: Collection of capillary blood for simultaneous determinations of arterial pH, CO_2-content pCO_2 and oxygen saturation. Amer.J.Clin.Path. 35:175 (1961)

25.) Gleichmann,M., D.Lübbers : Die Messung des Sauerstoffdrucks in Gasen und Flüssigkeiten mit der Platinelektrode unter besonderer Berücksichtigung der Messung im Blut. Pflügers Archiv f.d.ges.Physiol. 271:431 (1960,

26.) Gleichmann,M., D.Lübbers : Die Messung des CO_2-Druckes in Gas und Flüssigkeiten.

27.) Göran,Lars : Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise. Acta Physiol.Scand. 70,292

28.) Hansen,J.E., G.P.Stelter, J.A.Vogel : Arterial pyruvate,lactate,pH and pO_2 during work at sea and high altitude. J.appl.Physiol. 23,523 (1967)

29.) Heitmann,H. : Blood pO_2-measurement.Resp.Physiol. (1967) 3 380-95

30.) Hermansen,L.: Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. J.appl.Physiol. 26(1)Jan69. 31-37

31.) Holmgren,A., H.Linderholm : Oxygen and carbon dioxide tensions of arterial blood during heavy and exhaustive exercise. Acta physiol.Scand. 44:203 (1958)

32.) Kaufmann,W., J.Kömpf, F.Dürr : Wasserstoffionenkonzentration von Erythrozyten im Kapillarblut von Gesunden und Kranken mit Störungen des Säure-Basen-Gleichgewichtes.Zeitschrift f.d.ges.experimentelle Medizin. 142,57-68 (1967)

33.) Kaufmann,W., G.Tilman : Säurebasengleichgewicht bei sportlichem Wettkampf. Med.Welt. S.1892-1835, Heft 31,1967

34.) Keul,J., E.Doll, D.Keppler : Muskelstoffwechsel. Die Energiebereitstellung im Skelettmuskel als Grund-

lage seiner Funktion. Johann Ambrosius Barth-Verlag. München. (1969)

35.) Kosiek,J.-P., E.J.Klaus : Das Verhalten des Glukose-Laktat-Pyruvat- und Cholesterinspiegels im Serum nach erschöpfender Ergometerarbeit bei Sportlern. Med. Welt 40 (1968) S.2154

36.) Loew,P.G., G.Thews : Die Altersabhängigkeit des arteriellen Sauerstoffdrucks bei der berufstätigen Bevölkerung. Klin.Wchschr. 40,1093(1962)

37.) Macintiyre,J., J.N.Norman, G.Smith : Use of capillary blood in measurement of arterial pO_2. Brit.med.J.1968,3, 640-643

38.) Maksud,M.G., K.D.Coutts, L.H.Hamilton : Time course of heart rate,ventilation and VO_2 during laboratory and field exercise. J.appl.Physiol. 30(4) : 536.(1971)

39.) Mellerowicz,H. : Ergometrie. Grundriss der medizinischen Leistungsmessung. München und Berlin :Urban und Schwarzenberg. 1962

40.) Metzner,A., J.Willmann, E.Gadermann : Säurebasengleichgewicht nach Maximalbelastung am Fahrradergometer und nach sportlichem Wettkampf. Med.Welt 1968 S.2161 Heft 40

41.) Reichel und Bleichert : Leitfaden der Physiologie. 1967,S.348

42.)Stainsby,W.N., A.B.Botis : Blood flow, oxygen tension, oxygen uptake and oxygen transport in skeletal muscle. Amer.J.Physiol. 206, 858(1964)

43.) Thews : Ein Microanalyseverfahren zur Bestimmung des Sauerstoffdrucks in kleinen Blutproben. Pflügers Archiv f.d.ges.Physiol. 276,89(1962)

44.) Ulmer,W.T., G.Thews,G.Reichel : Klinische Anwendbarkeit einer Mikroanalysemethode zur Bestimmung des Sauerstoff- und Kohlensäuredrucks im arteriellen Blut aus heparinisierten Kapillaren. Verh.dtsch.Ges.inn.Med. 69:670(63)

45.) Ulmer,W.T., R.Reichel : Untersuchung über die Altersabhängigkeit der alveolaren und arteriellen Sauerstoff- und Kohlendioxiddrucke. Klin.Wchschr. 41:1(1963)

46.) Wylicil,P.: Die klinische Bedeutung der Blutgasanalyse aus dem Ohrläppchenblut. Med.Welt S.1119-1130 Heft 18 (1967)

Lebenslauf

Am 19.7.1945 wurde ich, Gerhard Schmidt, als Sohn des Regierungsrats Walter Schmidt und seiner Ehefrau Annemarie geb. Schaal in Sigmaringen geboren.
Die Volksschule besuchte ich in Scheer, Kreis Saulgau, anschließend das Gymnasium in Tuttlingen. Das Abitur legte ich 1964 in Tübingen ab. In Stuttgart-Hohenheim begann ich das Medizinstudium und setzte es an der Universität Tübingen bis zum Physikum (1967) und Staatsexamen, das ich am 1.2.1971 bestand, fort. Während der darauffolgenden einjährigen Medizinalassistentenzeit war ich in den Fächern Chirurgie, Innere Medizin und Dermatologie beschäftigt. Nach der mir am 28.2.1972 erteilten Approbation wurde ich zum Wehrdienst eingezogen, den ich als Schiffsarzt bei der Marine ableistete. Seit Mai 1973 bin ich Assistenzarzt an einer Münchner Klinik im Fach Innere Medizin.